第 28 回日本放射光学会奨励賞を受賞して

物性研究所　三輪研究室　　助教　坂本 祥哉

この度、第 28 回日本放射光学会奨励賞を受賞し、2024 年 1 月に姫路で行われた放射光学会年会において授与式が行われました。この賞は放射光科学分野において優れた研究成果を挙げた若手研究者の功績を称え、今後の活躍を奨励するために設けられたものです。これまでの歴代の受賞者には、物性研にゆかりのある著名な先生方が数多く名を連ねられ、いっそう気の引き締まる思いがいたします。

私は 2018 年 3 月に東京大学理学系研究科物理学専攻で博士号を取得し、藤森淳教授のもと放射光を用いた磁性材料の電子構造と磁性の研究に従事してまいりました。その後スタンフォード大学でのポスドクを経て、2019 年 10 月に物性研究所に着任しました。着任後はスピントロニクスの分野において応用の期待される薄膜とデバイス作製、その物性の評価に焦点を当て研究を推進しています。受賞対象となった研究は“軟 X 線磁気円二色性によるスピントロニクス薄膜の磁性と電子構造の研究”です。Fe/MgO 界面における電子構造を解明した成果[1,2]と Mn_3Sn 単結晶薄膜における非自明な X 線磁気円二色性(XMCD)を観測した成果[3]が受賞対象となりました。本成果はこれまで培ってきた放射光分光の経験と薄膜作製の技術が高度に融合して得られたものであり、三輪真嗣准教授、雨宮健太教授をはじめとした共同研究者の皆さま、藤森淳名誉教授をはじめとしてこれまで多大なご指導いただいた皆さまに深く感謝申し上げます。

Fe/MgO 界面は大きなトンネル磁気抵抗効果と垂直磁気異方性を示し、スピントロニクス分野において最も基礎的で欠かすことができない物質系です。この二つの効果はそれぞれ、界面の Fe のスピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントによって決定されますが、それらの振る舞いは実験的に未解明のままでした。本研究では良質な Fe/ MgO 界面を持つ V/Fe/MgO 三層膜を作製し、深さ分解 XMCD 法を用いて界面一原子層の Fe のスピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントを初めて実験的に明らかにしました。その結果によると、MgO 界面においてスピン磁気モーメントが内部の Fe に比べ 5%ほどしか変化しなかったのに対し、界面の軌道磁気モーメントは 250%という顕著な増大を示しました。第一原理計算との比較によって、この増大が界面における電子相関の増大によるものであることを明らかにしました。本成果は、スピントロニクス分野で軽視されてきた電子相関が、基礎的な Fe/MgO 界面においても重要であることを示すもので、今後の研究に新たな展開を生み出すものと期待されます。

二つ目の研究で着目した Mn_3Sn は、反強磁性体にもかかわらず異常ホール効果などの強磁性的応答を強く示すため、大きな関心を集めています。この物質は、Mn のカゴメ格子が積層した構造を持ち、カゴメ面内に反強磁性の逆三角スピン構造をとります。このスピン構造は反強磁性的ではあるものの時間反転対称性を巨視的に破り、クラスター磁気八極子が強的に秩序した状態として理解されます。またその帰結として、このような逆三角スピン構造において、正味の XMCD が有限となることが理論的に提唱されていました。本研究では、この理論提唱を検証すべく、カゴメ格子が直立した Mn_3Sn エピタキシャル薄膜の開発に取り組み、XMCD 実験を行いました。その結果、XMCD スペクトルが、磁場に比例するキャントスピン成分と磁場依存しないクラスター磁気八極子成分の二つから成り立つことを示し、それぞれの大きさを定量的に同時に評価する手法を提案しました。この研究成果は、Mn_3Sn をはじめとするカイラル反強磁性体のデバイス研究、あるいは、顕微 XMCD 技術を用いた反強磁性磁気ドメインの高分解能での可視化など、様々な研究の展開につながると期待されます。

現在は、デバイス物理と放射光科学を融合させ、電流や電圧を印加しながら測定を行うオペランド実験にも取り組んでおり、今回の受賞を励みにして、よりいっそう科学の発展に貢献していく所存です。

参考文献

1. S. Sakamoto, M. Tsujikawa, M. Shirai, K. Amemiya and S.Miwa: ACS Appl. Electron. Mater. **4**, 1794 (2022).
2. S. Sakamoto, T. Nozaki, S. Yuasa, K. Amemiya and S. Miwa: Phys. Rev. B **106**, 174410 (2022).
3. S. Sakamoto, T. Higo, M. Shiga, K. Amemiya, S. Nakatsuji and S. Miwa: Phys. Rev. B **104**, 134431 (2021).